

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЛИЯНИЯ КАПЕЛЬ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Н.А. Горбун, А.А. Сидорова
Томский политехнический университет
E-mail: nag21@tpu.ru

Введение

Сепарация водогазонефтяной эмульсии является одним из популярнейших процессов в нефтегазовой отрасли. Есть огромное множество способов осуществления данного процесса. В данной работе будет рассмотрен процесс сепарации под действием электрического поля. Часто процесс сепарации занимает продолжительный период времени, в результате которой требуется отделить нефтяную среду от водной, состоящую из мелких капель, не разделенных под действием силы тяжести. Данное количество воды составляет несколько процентов от общего объема, что в итоге может повлиять на последующие операции стабилизации нефтяной среды в случае несвоевременного удаления излишек воды.

Необходимо воздействовать на слияние мелких капель водонефтяной эмульсии для получения более крупных капель воды, которые будут подвержены эффекту силы гравитации. Наиболее выгодным способом является подведение электрического поля с переменным током для деформирования капель и увеличения силы их столкновения в среде. Результат данного воздействия – увеличение среднего диаметра капель воды. Устройство, в котором осуществляется данный процесс, называется электростатическим коалесцером (электродегидратором), зарекомендовавшим себя в нефтегазовой сфере. Физические явления, заложенные в основу его работы, в настоящее время недостаточно изучены.

В данной работе проведено исследование процессов слияния капель водонефтяной эмульсии под действием электрического поля в электродегидраторе.

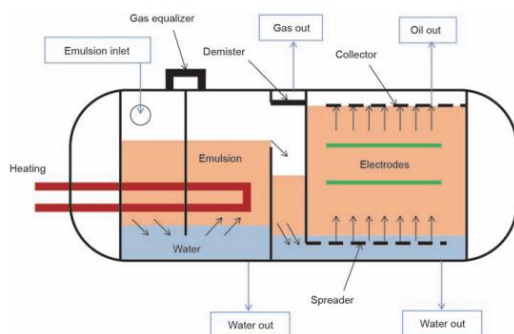


Рис. 1. Функциональная схема электродегидратора

Описание устройства

Промысловая нефть содержит большое количество примесей, газа и воды, которые необходимо тщательно отделить. Совокупность сил гравитации и электростатического поля влияет на эффективность сепарации. Устройство разделяет поступившую эмульсию на три фазы: вода, нефть и газ. Электродегидратор должен отвечать следующим требованиям: компактность и высокая производительность. На рисунке 1 представлена функциональная схема электростатического коалесцера. Устройство состоит из двух основных частей: коалесцера (левая часть) и электростатического коалесцера (правая часть). На первой стадии при помощи гравитации происходит отделение неконденсируемого газа и большей части воды. На второй стадии оставшаяся вода в эмульсии отделяется при помощи электродов. Коалесцер нагревается до 80-90 °С для разделения под действием силы тяжести. Клапан предназначен для слива отделившейся пластовой воды. Низкая скорость потока эмульсии позволяет отделять крупные капли воды. Газовая фаза отделяется из верхней части устройства после каплеуловителя. Газовый уравниватель предназначен для сбалансирования давления внутри камер устройства. Оставшиеся 3% водной фазы в нефти попадают во вторую секцию электростатического коалесцера для дальнейшей сепарации. Электрическое поле воздействует на эмульсию с помощью электродов, способствующих слиянию капель воды [1].

Исследование математической модели коалесцера является сложной проблемой. Рассмотрение математической модели начинается с характеристики одной капли воды с учетом основных физических явлений. Составляющие сил, действующих на каплю воды представлены на рисунке 2:

- сила Архимеда $F_{\text{Арх}}$ (объясняет плавучесть капли воды, взвешенной в чистой нефти);
- сила вязкости $F_{\text{вязк}}$ (противодействует движению капли);
- сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ (движущая сила для разделения водной и нефтяной фаз);
- сила электростатического поля $F_{\text{эл}}$ (способствует слиянию капель).



Рис. 2. Силы, действующие на одну каплю воды

Предполагая, что электрического поля нет, можно рассчитать критический диаметр, который делает равной нулю равнодействующую всех сил по оси ординат, таким образом, получая закон Стокса для капель в ламинарных потоках:

$$v = \frac{(\rho_o - \rho_n)d^2 g}{18\mu}. \quad (1)$$

Приравняв выражение (1) к нулю, можно найти критический диаметр d . Задача электродегидратора состоит в том, чтобы способствовать образованию и отделению крупных капель воды. Важный вклад вносит электрическое поле [2].

Учитывая концентрацию воды в нефти, достаточно использовать относительные объемы фазы для расчета среднего расстояния между двумя каплями (где $conc$ – безразмерное молярное отношение)

$$l = \sqrt[3]{\frac{100\pi d^3}{conc}}. \quad (2)$$

Сила притяжения двух капель, подверженных электрическому полю, равна:

$$v_{прит} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 d^5}{32\pi\mu l^4}. \quad (3)$$

Время и высота столкновения рассчитываются следующим образом:

$$\Delta t = \frac{l}{v_{прит}}, \quad h_{столк} = |v - v_n| \cdot \Delta t. \quad (4,5)$$

На рисунке 3 представлена зависимость диаметра капель от электрического поля:

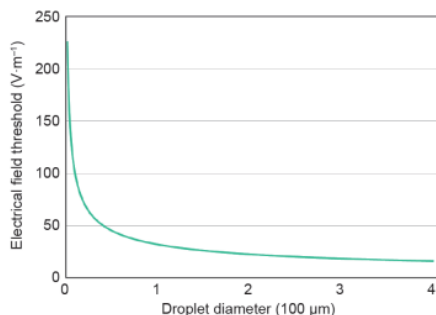


Рис. 3. Пороговое электрическое поле как функция от диаметра капель

Распределение капель воды по размерам

Более высокая точность прогнозирования достигается путем введения распределения размеров капель воды. Общий объем нефти может быть рассчитан, когда известна концентрация воды на входе ($conc(z)$ – общая водная концентрация на высоте z):

$$V_n = \frac{1 - conc(z)}{\rho_n}. \quad (6)$$

При известном объеме капель нефти, соотношение между диаметрами капли воды и соответствующей капли нефти на высоте z определяется по следующей формуле:

$$\frac{d_n}{d_w} = \sqrt[3]{\frac{V_n}{conc(z)}}. \quad (7)$$

На рисунке 4 представлена зависимость высоты столкновения капель воды от концентрации воды на входе:

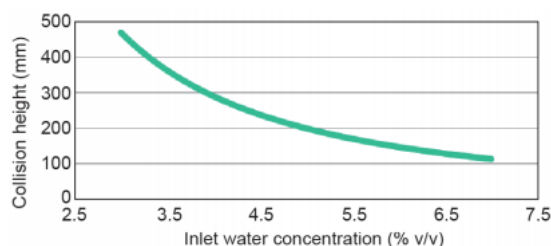


Рис. 4. Зависимость высоты столкновения от концентрации воды на входе (при 20 кВ)

Заключение

В данной работе были получены уравнения, описывающие функционирование электростатического коалесцера. Разработанная математическая модель, основанная на физических законах, объясняет основные явления, определяющие слияние капель воды в водонефтяной эмульсии.

Список использованных источников

1. Francesco Rossi, Simone Colombo. Upstream Operations in the Oil Industry: Rigorous Modeling of an Electrostatic Coalescer // Elsevier. – 2017. – P. 220-231.
2. John S. Eow, Mojtaba Ghadiri. Electrostatic and hydrodynamic separation of aqueous drops in a flowing viscous oil // Elsevier. – 2001. – P. 649-657.